

風による薄肉円筒構造物のオバリング振動に関する 実験的研究

著者	桂 重樹
号	926
発行年	1982
URL	http://hdl.handle.net/10097/9662

氏 名	桂 重 樹
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 58 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項
研 究 科 , 専 攻 の 名 称	東 北 大 学 大 学 院 工 学 研 究 科 (博 士 課 程) 建 築 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	風 による 薄 肉 円 筒 構 造 物 の オ バ リ ン グ 振 動 に 関 す る 実 験 的 研 究
指 導 教 官	東 北 大 学 教 授 内 山 和 夫
論 文 審 査 委 員	東 北 大 学 教 授 内 山 和 夫 東 北 大 学 教 授 志 賀 敏 男 東 北 大 学 教 授 和 泉 正 哲

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

サイロ、クーリングタワーなどの塔状薄肉円筒構造物は殻構造物の一種であり、外圧に対し主として膜応力で抵抗するという力学的特性を有するので、自重に比して高い耐荷能力をもっている。近年、高張力鋼の開発により軽量化が促進され円筒構造物の壁面がより薄肉になる傾向がある。しかし、そのことにより面外剛性が低下し風荷重の如き面外方向強制力を受けると、壁面の水平断面の振動現象であるオバリング振動が発生しやすくなり、それによる壁面の曲げ破壊、疲労破壊等の危険性が指摘されている。

オバリング振動の問題については、カルマン渦との共振であるとの説があるが円筒周辺の流れは、はく離を生じその性状が複雑であること、並びに壁面の振動に伴う非定常空気が壁面の動的応答に影響を及ぼすという動的循環現象が存在するために問題が極めて複雑であり、未解決の課題が数多く残されている。

円筒に作用するはく離流の特性、並びに動的循環現象の特性について十分に把握されていない現在、オバリング振動の問題を理論的に扱うことは不可能である。従って、本研究ではオバリング振動が最も顕著に起ると考えられるサイロを対象として円筒試験体を作製し、風洞を用いた実験により風速の増大に伴う壁面の静的変位性状、振動の r. m. s. 値、卓越振動数、振動モード、および壁面の振動と空気力との相互作用を連続的に測定し、オバリング振動の現象並びに発生機構の解明を行った。

第2章 実験ならびに解析の方法

本研究では、種々ある薄肉円筒構造物のなかでサイロを実験の対象としている。実験に用いた試験体の寸法や各種の構造パラメータは実大サイロとの相似則をほぼ満足するように決定され、弾性範囲での挙動を把握するために弾性域の広いポリエステルフィルムを用いて作製した。ポリエステルフィルムは単位体積当りの質量が小さいために、構造パラメータの一つである壁面質量が実構造物の値よりも小さくなるので、試験体の寸法並びに壁面の剛性を変化させずに、振動モードに影響を与えない間隔で鋼球を等間隔に接着することにより壁面質量を増大させた試験体を作製した。試験体は風洞の振動の影響を避けるために風洞とは切り離して設置した台の上に固定し、上端にはアルミ製のリングを挿入し接着することにより法線方向変位を拘束した。

壁面の変位は非接触型変位計により測定され、エルゴード過程として確率・統計的な処理が施されている。

接近流としては高さ方向に速度勾配をもたない気流を用い、その乱れの強さは種々の乱流格子を設けることにより0.8～8.8%の間で5通りに変化させている。

第3章 円筒構造物に作用する入力としての風の特性に関する風洞実験結果

オバリング振動の発生には、壁面の振動によって生ずる非定常空気力が壁面の動的応答に影響を及ぼすという動的循環現象が存在すると考えられるので、構造物に対する風の作用を“風-構造物”という連成系として捉えなければならない。従って、ここでは壁面が剛な円筒模型と柔な円筒模型を用いて円筒周辺の風の流れの特性並びに円筒に作用する風圧力の特性を測定し、両者の結果を比較することにより壁面の振動の影響を把握した。これらの特性はストローハル数、乱れのスケール、および静的風圧力分布、変動風圧力分布、変動風圧力の時空相関性の各項目に分けて測定し、その結果を示した。ここで得られた結果は、次章で壁面の応答特性との対応を検討し、振動発生機構を解明するための資料となるものである。

本研究では、これまでほとんど注目されていなかった接近流の乱れの強さの違いによる風圧力分布の変化に着目した。その結果、接近流の乱れの強さを変化させることによりはく離点が移動し、それに伴って静的風圧力分布も変化することが明らかになったので、自然風中と比較してレイノルズ数の小さい風洞実験においても、円筒構造物に作用する静的風圧力分布、はく離点の位置が自然風中における性状に近い状態を得ることが可能となった。

第4章 円筒構造物壁面の応答に関する風洞実験結果

本章では、円筒試験体を用いて行った風洞実験の結果を壁面の静的変形、r.m.s.応答、振動性状（振動数と振動モード）、および壁面の振動と空気力との相互作用の各項目に分けて示した。ここでは、相互作用を空力減衰並びに壁面の振動と変動風圧力の位相差により把握した。

オバリング振動は円筒構造物の水平断面の静的変形を伴っている。その性状は壁面に作用する静的風圧力分布に対応したもので、変動風圧力の影響を受けない。又、振動のr.m.s.値より求められる壁面の振幅は変動風圧力に比例して増大するが、接近流の乱れの強さが小さい場合はある限界風速

で不安定現象が発生し振幅が急激に増大する。それに対し、接近流の乱れの強さが大きい場合はこのような不安定現象は発生せず、振幅は変動風圧力に比例して増大することを示した。本研究では、接近流の乱れの強さが小さい場合に生じた不安定現象が発生するときの風速を“振動発生風速”と定義した。さらに、壁面の振動性状は接近流の乱れの強さにかかわらず、その固有振動数、固有振動モードと同一の安定なものであり、風速の増大に伴い振動モードが高次モードへ変化することを明らかにした。

接近流の乱れの強さが小さい場合に生じた不安定現象の発生原因については、振動発生風速を境として振動系全体の減衰が壁面の減衰定数より小さくなること、並びに変動風圧の作用する方向と壁面の運動速度の方向とが一致することより、空力負減衰による自励的な振動現象の発生によるものであることを示した。

円筒試験体の種々のパラメータを変化させて行った以上の実験結果により、壁面の質量、固有振動数、試験体の寸法、および接近流の乱れの強さが壁面の不安定現象の発生に大きく影響を与えていることが明らかにされた。

第5章 風による円筒構造物のオバリング振動に関する考察

本章では、第3章および第4章で示した実験結果に基づき、風による円筒構造物のオバリング振動の性状、並びに振動発生機構を明らかにした。

オバリング振動は静的風圧力分布に対応した静的変形を生じている円筒構造物の水平断面に発生する壁面固有の振動数、固有の振動モードでの

振動現象である。従来、オバリング振動はカルマン渦との共振であるとの説があるが、本研究で扱った円筒構造物のように壁面の固有振動数が高く、カルマン渦と共振を起す可能性のないようなものであっても、接近流の乱れの強さが小さい場合は図1に示すように自励的な振動が発生することにより

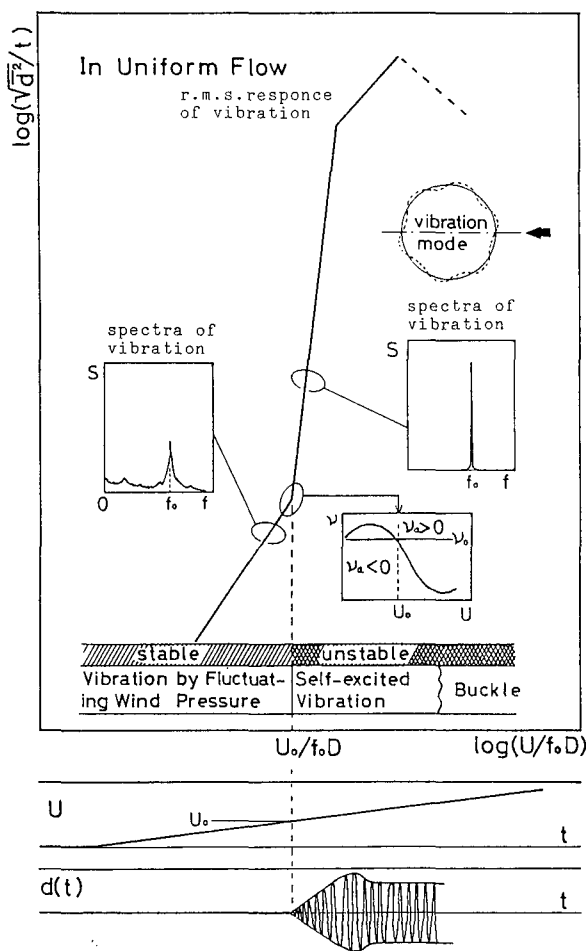


図1 オバリング振動の特性
(接近流の乱れの強さが小さい場合)

振幅が急激に増大することが明らかにされた。一方、接近流の乱れの強さが大きい場合は、壁面の固有振動数が高いためにカルマン渦と共振を起すこともなく、自励的な振動も発生しないので図2に示すように振幅は急激に増大することはない。

本研究では、接近流の乱れの強さが小さい場合、自励的な振動が発生するがそのときの風速と円筒の寸法、固有振動数等の定量的な関係を示した。すなわち、円筒壁面の振動によって生ずる非定常空気力は壁面の振動に影響を与えていると考えられるので、壁面の振動によって生ずる円筒背後の渦の循環を考えた。その循環による揚力が、構造物全体の剛性よりも壁面の剛性が小さい構造物に作用するときは、構造物全体を振動させるよりも壁面を振動させると考えられるので、壁面の振動による慣性力と揚力との釣り合いを求めた。

又、接近流の乱れの強さが大きくなると自励的な振動が発生しなくなる原因を、ここでは流れの中に含まれる渦の平均的な大きさを表す乱れのスケールによりとらえ、乱れのスケールと壁面の振動モードの半波長とが一致することが、自励的な振動現象が発生するための1つの条件であることを示した。

以上の様に、本研究ではオバリング振動の現象を明らかにし、壁面の振動によって生ずる非定常空気力の作用を把握することにより、壁面の振幅が共振とはまったく異なった自励的な要因により急激に増大する可能性があることを明らかにした。

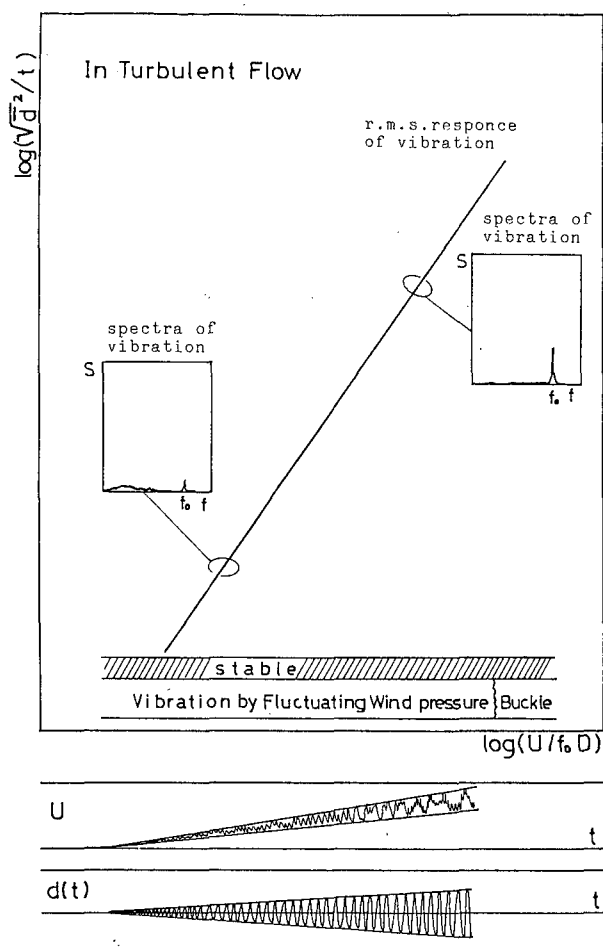


図2 オバリング振動の特性
(接近流の乱れの強さが大きい場合)

第 6 章 結 論

本研究を通して得られた結論を総括して述べている。

審査結果の要旨

従来サイロ、クーリングタワー等の塔状薄肉円筒構造物は風の作用によって壁面が偏平化し、振動する所謂オバリング現象を生ずることが指摘され、それによる壁面の曲げ破壊や疲労破壊等が懸念されている。しかし、その現象や発生機構等については殆ど解明されておらず、設計上オバリング現象の解明が必要とされている。本論文はこのオバリングの振動性状を解明するために行った実験研究の成果をとりまとめたもので6章よりなる。

第1章は序論で、本論文の目的並びに既往の研究について述べている。

第2章では試験体の製作、実験方法、実験装置、結果の解析方法等について述べている。実験はオバリング振動が顕著に起るとされる実大サイロを対象として、寸法や構造パラメータ等の各種要素が相似則を満足するように、ポリエステルフィルム製の円筒模型を作製し風洞を用いて実験を行っている。接近流には高さ方向の速度勾配がなく、5種類の乱れの強さをもつ気流を用いている。

第3章は、円筒周辺の風圧力の分布性状に関する実験結果を示し検討を加えたものである。特に壁面の動的挙動が風圧力分布に及ぼす影響を明らかにするため、ソリッドな円筒模型による結果と比較してその特性を把握している。

第4章では、風による壁面の動的応答性状に関する実験結果について述べている。風速の増大に伴う壁面の静的変位成分、振動の r. m. s. 応答、卓越振動数、振動モード等の振動性状の変化を連続的に測定し、応答性状を定量的、定性的に把握検討している。その結果、接近流の乱れの強さが小さい一様流では、ある限界風速で急速に振幅が増大するのに対し、乱れの強さが大きい場合は風速の増大と共に振幅が増大すること、並びに壁面はその固有振動数、固有振動モードが卓越する安定な振動性状を示すことを明らかにした。又壁面の振動と風圧力との相互作用に関する実験結果から非定常空気力の負減衰効果を定量的に把握し、前者の不安定現象の発生機構を明らかにしている。

第5章では、以上の実験結果について総合的な考察を行っている。従来オバリング振動はカルマン渦との共振であるとの説があるが、接近流の乱れの強さが小さい場合には非定常空気力の負減衰効果によって壁面が自励的な振動性状を示すことを明らかにし、その限界風速と円筒の幾何学的寸法、壁面の質量比との関係を示している。これは新しい知見である。

以上要するに、本研究は風による薄肉円筒構造物のオバリング振動について実験研究を行い、その発生機構、振動性状を明らかにしたもので、構造工学上寄与する処が少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。